

吴筱萍, 欧阳永棚, 周耀湘, 等. 景德镇朱溪钨铜多金属矿床岩浆岩地球化学特征及其对成矿的约束[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1885–1896.
Wu Xiaoping, OUYANG Yongpeng, Zhou Yaoxiang, et al. Geochemical characteristics of magmatite and their constraints on mineralization of the Zhuxi tungsten–copper polymetallic deposit in Jingdezhen, Jiangxi Province[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1885–1896(in Chinese with English abstract).

景德镇朱溪钨铜多金属矿床岩浆岩地球化学特征 及其对成矿的约束

吴筱萍 欧阳永棚 周耀湘 钟仕俊 陈国华

(江西省地质矿产勘查开发局 912 大队, 江西 鹰潭 335001)

摘要: 景德镇朱溪钨铜多金属矿床是近年在赣东北地区发现的一个超大型矽卡岩矿床。在对该矿床成矿地质背景及地质特征已有认识的基础上, 本文通过对钻孔揭露出的岩浆岩及矽卡岩型矿石进行微量–稀土元素地球化学分析, 结合岩浆岩含矿性、矿化分带性及已有成岩–成矿年代学数据, 初步分析了岩浆岩的地球化学特征及其对成矿作用的制约。结果表明岩浆岩与成矿有密切的成因联系, 朱溪钨铜多金属矿床的形成可能主要受华南中生代岩石圈多阶段伸展–减薄而形成的一系列地壳重熔型花岗质岩石控制。

关键词: 朱溪钨铜矿床; 地球化学特征; 矽卡岩; 江西景德镇

中图分类号: P618.67; P618.41 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2015)06–1885–12

Geochemical characteristics of magmatite and their constraints on mineralization of the Zhuxi tungsten–copper polymetallic deposit in Jingdezhen, Jiangxi Province

WU Xiao–ping, OUYANG Yong–peng, ZHOU Yao–xiang, ZHONG Shi–jun, CHEN Guo–hua

(No. 912 Geological Surveying Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Yingtan 335001, Jiangxi, China)

Abstract: The Zhuxi tungsten–copper deposit, discovered in northern Jiangxi in recent years, is a potential superlarge skarn deposit. Based on the geological setting and geological features of the ore deposit, the authors analyzed the rare earth and trace elements of the magmatite and skarn ores in the drill holes. Combined with the ore–bearing properties of the granitoid, the mineralization zoning, and the pre–existing geochronological data, this paper preliminarily discusses the geochemical characteristics of the granite and their constraints on mineralization of the Zhuxi tungsten–copper deposit. It is suggested that the granite is closely related to

收稿日期: 2014–09–19; 改回日期: 2014–12–26

基金项目: 江西省科技支撑计划项目(20122BBG70068)、国土资源部公益性科研项目(201411035)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAB04B02)和中国地调局地质调查项目(12120113065300)联合资助。

作者简介: 吴筱萍, 女, 1968 年生, 高级工程师, 现主要从事地质矿产勘查及管理工作; E-mail: lrywxpljw@126.com。

通讯作者: 陈国华, 男, 1967 年生, 高级工程师, 现主要从事地质矿产勘查及研究工作; E-mail: yt912chgh@sina.com。

metallogenesis, and the mineralization of Zhuxi tungsten-copper polymetallic deposit is controlled by the crustal remelting granite which may have resulted from the large-scale lithospheric extension of southern China during the Mesozoic.

Key words: Zhuxi tungsten-copper polymetallic deposit; geochemical characteristics; skarn; Jingdezhen, Jiangxi Province

About the first author: WU Xiao-ping, female, born in 1968, senior engineer, engages in research on geology and mineral resources exploration and management; E-mail: lrywxpljw@126.com.

About the corresponding author: CHEN Guo-hua, male, born in 1967, senior engineer, engages in research on geology and mineral resources exploration and management; E-mail: yt912chgh@sina.com.

1 引 言

赣南是中国钨业的发祥地,素有“世界钨都”之美誉,赣东北地区则是中国重要的铜金多金属矿重点成矿域之一,江西由此形成了“南钨北铜”的矿产资源分布格局。然而随着2010年赣西北武宁县大湖塘特大型钨矿的发现^[1-2],且自2010年起,借助江西省地质勘查基金“江西省浮梁县朱溪外围铜多金属矿调查评价(编号:20100112)”项目实施的契机,江西地矿局912大队又在赣东北浮梁县朱溪矿区发现了一个世界级超大型钨铜多金属矿床^[3],这一重大发现也改变了江西“南钨北铜”的传统分布格局,使得江西省钨矿资源形成了赣南、赣东北、赣西北三足鼎立的新格局。

朱溪钨铜多金属矿床位于江西省景德镇市浮梁县内,原先仅是一个小型铜矿床,受当时勘查技术条件、资金及认识不足等诸多因素影响,该矿多年勘探一直停滞不前。随着近些年地勘基金投入及深部钻探技术的提高,朱溪钨铜多金属矿床找矿工作取得了重大突破,在深部发现了厚大的钨铜富矿体。引起了相关地质同行的极大关注,学者分别对该矿床找矿潜力^[4]、地质特征及成矿条件^[5]、突出特征及其对区域找矿的指示意义^[6]、成矿元素富集规律^[6]、找矿标志^[7]、成矿岩体年代学及地球化学特征^[8-11]、成矿时代^[12]、成矿机制^[13]等方面进行过相关研究。在对该矿床成矿地质背景和地质特征已有认识的基础上,本次研究笔者通过对钻孔揭露出的岩浆岩及矽卡岩型矿石进行微量-稀土元素地球化学分析,结合岩浆岩含矿性、矿化分带性及已有成岩-成矿年代学数据,初步分析了岩浆岩地球化学特征及其对成矿作用的制约作用,这对于该区找矿勘查工作具有一定的指导意义。

2 成矿地质背景

钦杭结合带位于扬子板块与华夏板块之间,是我国一条重要的Cu-Au-Pb-Zn-Ag多金属成矿带^[14-15]。朱溪钨铜多金属矿床处于钦杭结合带江西段萍乐拗陷带北缘,下扬子陆块江南古岛弧带东南部,赣东北深大断裂北西侧,隶属于萍乡乐平燕山期成矿亚带的塔前-清华Cu(W)-Au多金属成矿远景区^[4,16-18]。

矿区地层具有典型的二元结构。其中基底地层为新元古界万年群,盖层由老到新依次为中石炭统黄龙组、穿时的上石炭统一二叠统船山组、下二叠统栖霞组和茅口组、中二叠统乐平组、上二叠统长兴组、上三叠统安源群和第四系(图1)。

矿区位于塔前一赋春推覆构造带中段,基底构造以紧密褶皱、推覆构造和韧性剪切带为主^[19-20],断裂次之,以北东向为主(图1),另有近东西向、上二叠统近南北向断裂。

受区域性北东向断裂控制,岩浆岩大多数呈脉状沿北东向产出,地表仅零星出露。岩石类型以花岗岩、花岗斑岩、细晶岩、花岗闪长岩、煌斑岩及二长岩脉为主。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

朱溪钨铜多金属矿床见有复合型(脉型+矽卡岩型+岩体型)矿体,其中尤以矽卡岩型矿体为主。矿体走向NE,倾向NW,多为隐伏矿体,地表仅可见零星小规模铜矿体出露。按矿体空间分布特征,可将矿体划分为2个矿带和诸多零星小矿体。其中1号主矿带赋存于万年群与黄龙组不整合面上下,厚大矽卡岩型钨铜矿体均产于此,多呈似层状、透镜状

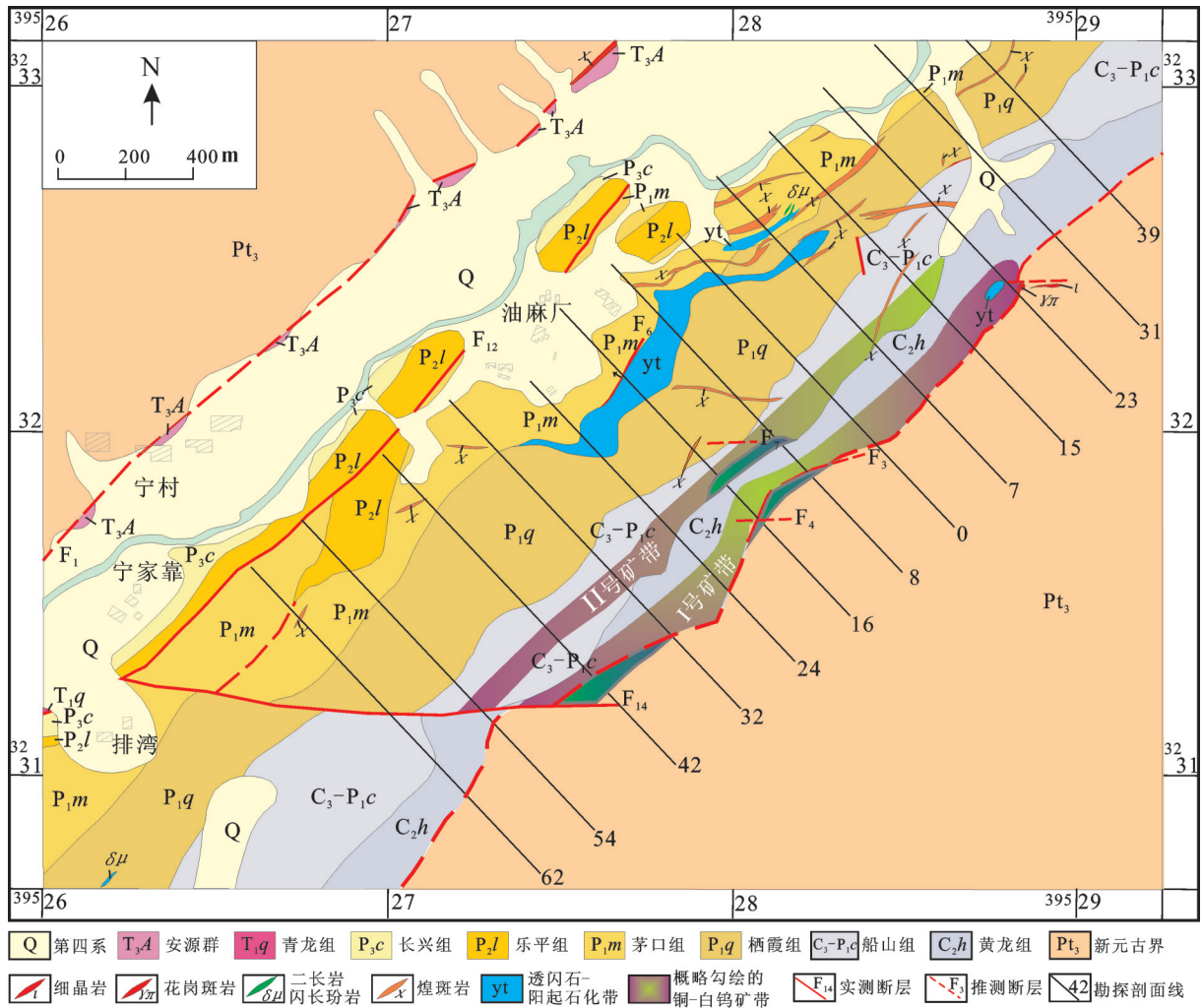


图1 朱溪钨铜多金属矿区地质图(据文献[3]略修改)

Fig.1 Geological map of the Zhuxi tungsten-copper polymetallic deposit (modified after reference [3])

产出; II号矿带赋存于船山组与黄龙组、茅口组底部地层界面之上, 矿体多呈透镜状和脉状产出; 零星小矿体多赋存于黄龙组中上部、茅口组地层中, 除受层位控制外, 还受层间裂隙带控制, 多呈脉状和透镜状产出(图2)。

此外, 在朱溪矿区深部还揭露到斑岩(蚀变花岗岩)型钨铜矿体, 表现为金属矿物呈星点状、细脉状分布于斑岩(蚀变花岗岩)中。

由此可见, 朱溪矿区具有“三位一体”成矿模式: 上部为热液脉型矿体, 中深部为矽卡岩型矿体, 更深部为斑岩(蚀变花岗岩)型矿体。

3.2 矿石类型

矿区内矿石类型较为简单, 根据主要金属矿物分布特征可将矿石划分为白钨矿石、黄铜矿石、闪

锌矿-白钨矿-黄铜矿石、黄铜矿-闪锌矿-黄铁矿石和辉铜矿石5种类型^[5]。钨铜多金属以浸染状矿化为主, 次为团块状、脉状及星点状矿化(图3)。

3.3 矿物组成及组构特征

矿石矿物成分较为复杂, 其中金属矿物以白钨矿、黄铜矿、闪锌矿和黄铁矿(图3)为主, 其次有磁黄铁矿、砷黝铜矿、斑铜矿、辉铜矿、毒砂、方铅矿、辉钼矿、黝锡矿、辉铋矿、赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿和针硫铋矿等; 非金属矿物主要由石英、长石、云母等造岩矿物及透闪石、石榴石(图4-G、H、I)、透辉石(图4-G、I)、阳起石、绿泥石、萤石、滑石、蛇纹石、绢云母及方解石等热液蚀变矿物组成。

矿石结构主要有自形-他形粒状结构(图4-I)、细脉穿插结构、交代残余结构、包含结构、固溶体出

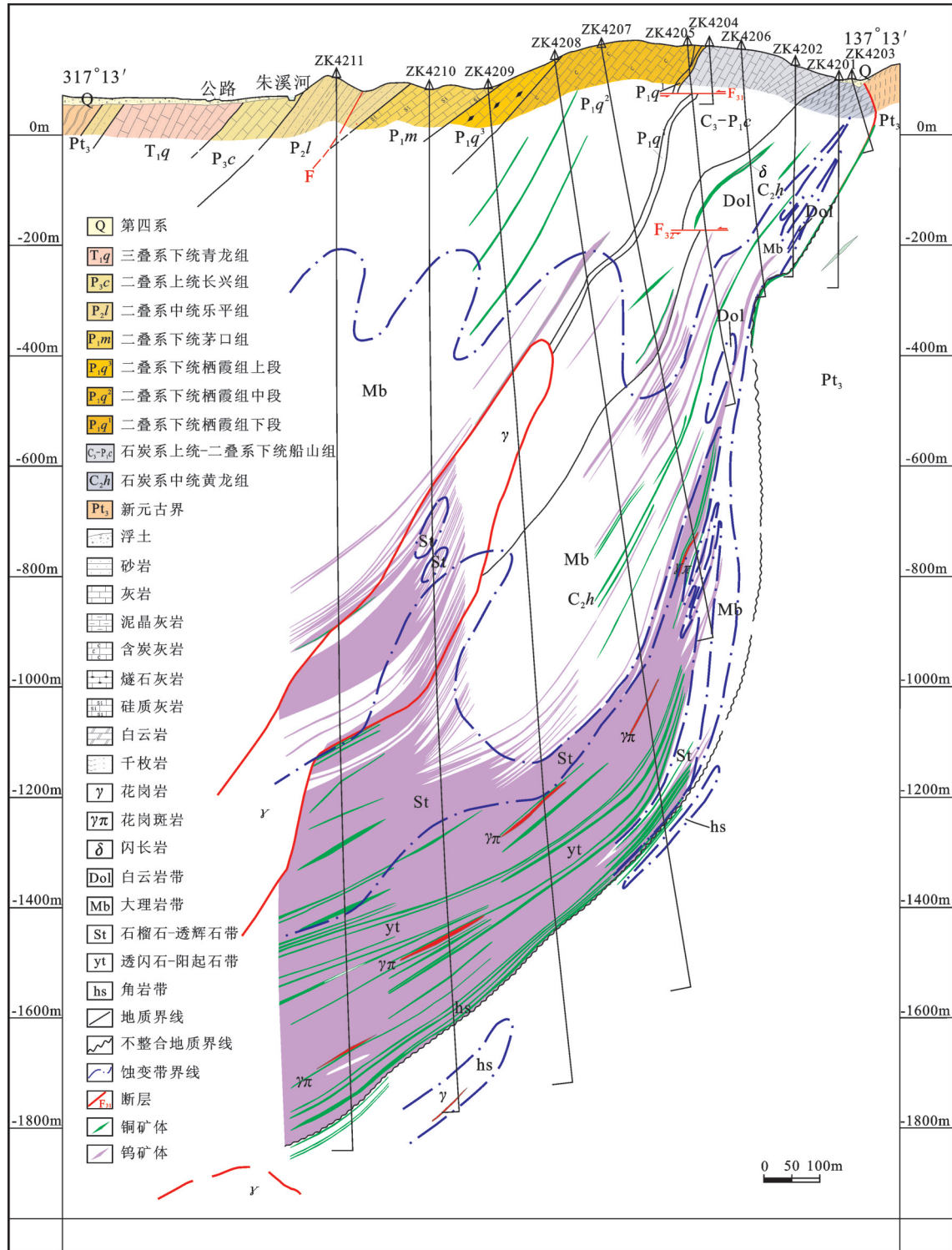


图2 朱溪铜钨多金属矿区42线勘探线剖面图

Fig.2 Geological section along No. 42 exploration line of the Zhuxi tungsten-copper polymetallic deposit

溶结构、骸晶结构等; 矿石构造较为简单, 据组成矿物集合体形态、大小和相互关系可分为浸染状构造

(图3-A)、块状构造(图3-D)、脉状构造(图3-B、C、F)、纹层状构造和角砾状构造。

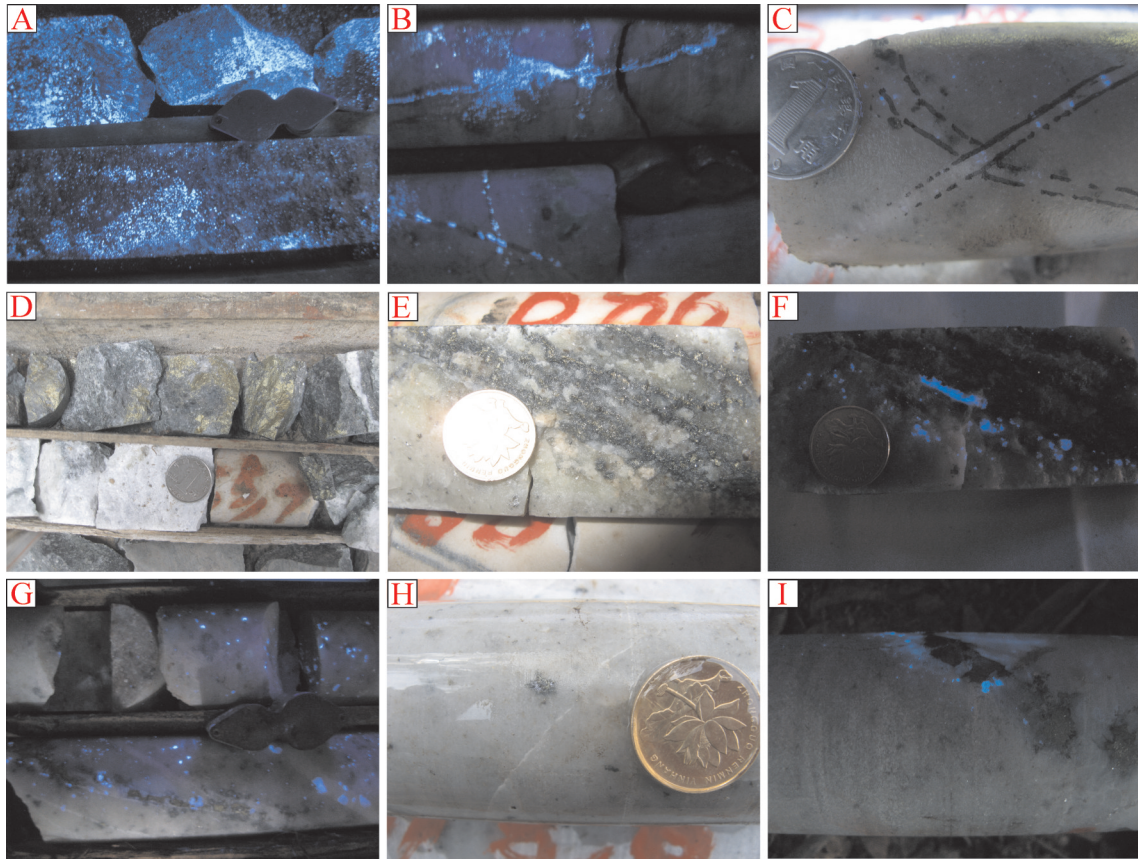


图3 朱溪钨铜多金属矿床矿化特征图

A—石榴石矽卡岩中浸染状白钨矿化; B—透闪石透辉石矽卡岩中细脉状白钨矿化; C—花岗斑岩中星点状白钨矿化; D—透辉石石榴石矽卡岩中团块状黄铜矿化; E、F—蚀变花岗岩中脉状黄铜矿+白钨矿+黄铁矿化; G—蚀变花岗岩石英脉中斑点状黄铜矿+白钨矿化; H—蚀变花岗岩中辉钼矿化; I—蚀变花岗岩中白钨矿+黄铜矿+黄铁矿+闪锌矿化; 岩心直径为60 mm

Fig. 3 Metallogenic characteristics of the Zhuxi tungsten-copper polymetallic deposit

A—Disseminated scheelite in garnet skarn; B—Veinlet scheelite in tremolite-diopside skarn; C—Star-like scheelite in porphyry granite; D—Lumpy chalcopyrite in diopside-garnet skarn; E, F—vein chalcopyrite+scheelite+pyrite mineralization in altered granite; G—Mottled chalcopyrite+scheelite mineralization in quartz vein of granite; H—Star-like molybdenite mineralization in altered granite; I—Scheelite+chalcopyrite+pyrite+sphalerite mineralization in altered granite

3.4 围岩蚀变

矿区围岩蚀变较为强烈, 蚀变种类繁多且分布广泛, 可分为接触交代变质和热液蚀变两大类。其中接触交代变质主要形成矽卡岩化、大理岩化和角岩化; 热液蚀变主要为透闪石化、阳起石化、绿帘石化、萤石化、绿泥石化、蛇纹石化、滑石化、硅化、碳酸盐化等。且自花岗岩往晚古生代围岩一侧大致可将蚀变划分为(萤石)石榴石-透辉石带、透闪石-阳起石-绿帘石带、(含石榴石-硅灰石)大理岩带、蛇纹石-绿泥石-滑石带(图2), 而不整合界面附近的浅变质岩多发生一定程度的角岩化^[3, 13]。此外, 深部含矿岩体中还可可见钾长石化和云英岩化。

4 花岗岩及矽卡岩特征概述

根据地表调查和矿区钻孔资料, 朱溪矿区岩浆岩以花岗岩类为主体, 地表极少出露, 多隐伏在标高-400 m以下。主岩体主要沿着新元古界浅变质岩与晚古生代碳酸盐岩之间的不整合面侵入, 岩体总体走向NE, 倾向NW, 岩体倾角较陡, 产状向深部有变陡趋势(图2), 也可见小岩脉沿构造薄弱带或层间裂隙带侵入。

朱溪矿区矽卡岩多产于岩浆岩与碳酸盐岩类岩石的接触带上, 且多产于外接触带, 矽卡岩型矿体形成明显受到岩浆分异冷凝、围岩性质、接触带

构造以及交代作用强度的影响,常呈似层状、透镜状等产出,规模大小不一,延深几十米至千米以上。矽卡岩类型以石榴石透辉石矽卡岩、石榴石矽卡岩和透闪石矽卡岩为主,含少量硅灰石矽卡岩,成分简单,主要分布在黄龙组白云岩底部,为主矿体主要赋存部位。局部顺层分布于黄龙组中下部和茅口组下部灰岩中。

5 样品采集及测试方法

本次研究所用9件样品均采自朱溪矿区42线和54线钻孔,均为新鲜未蚀变的样品。其中岩浆岩样5件(蚀变花岗岩2件、黑云母花岗岩2件、花岗斑

岩1件)及矽卡岩型矿石样4件,各类样品手标本和显微照片如图4所示,具体采样位置见表1。

岩浆岩和矽卡岩型矿石样微量-稀土元素分析均在江西省地质矿产勘查开发局九一二实验室完成,分析仪器为Thermo Scientific iCAP™ Q型电感耦合等离子体质谱仪(ICM-MS),分析精度优于5%。

6 微量、稀土元素地球化学特征

6.1 微量元素

朱溪矿区岩浆岩的稀土元素含量见表2。5件岩浆岩样尽管微量元素含量有一定的差异,由黑云母花岗岩→蚀变花岗岩→花岗斑岩,总体上各微量元素含

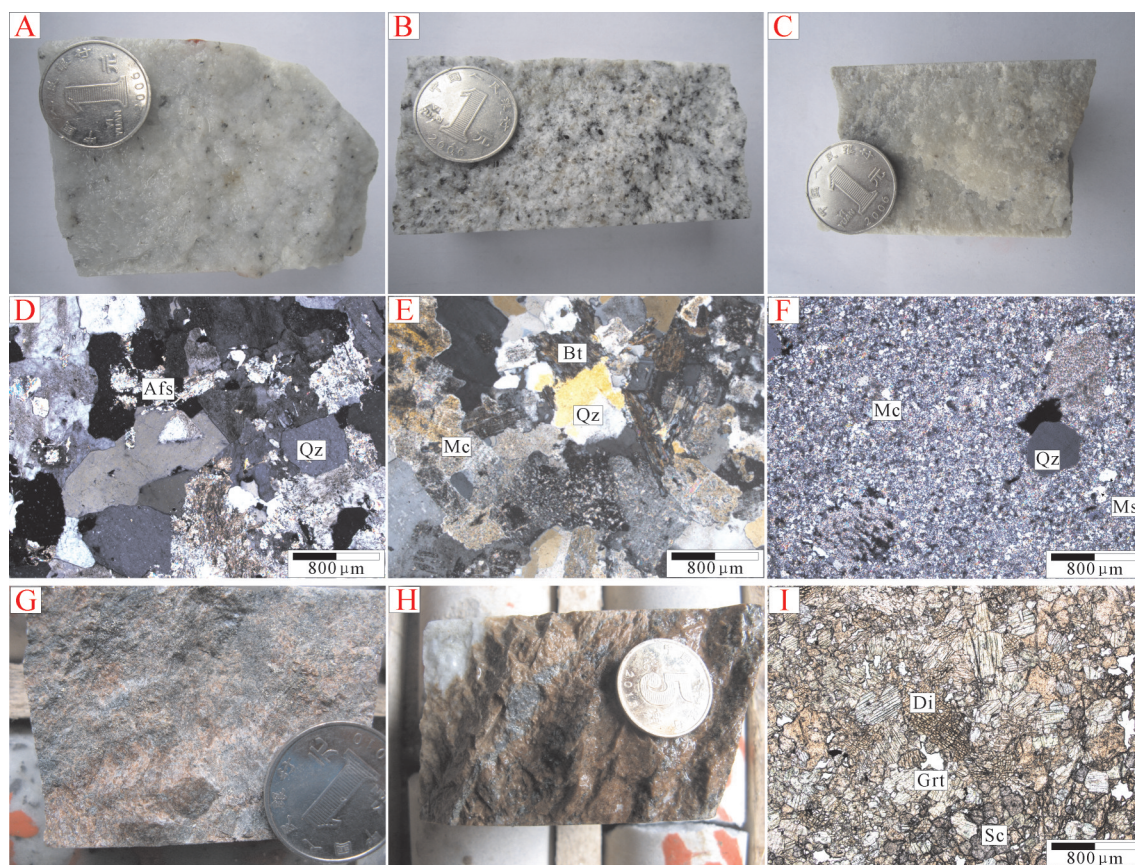


图4 朱溪矿区典型岩浆岩和矽卡岩手标本和显微照片

A、D—蚀变花岗岩; B、E—黑云母花岗岩; C、F—花岗斑岩; G、I—透辉石-石榴石矽卡岩; H—石榴石矽卡岩; Qz—石英; Afs—碱性长石; Bt—黑云母; Mc—微斜长石; Ms—白云母; Di—透辉石; Grt—石榴石; Sc—白钨矿

Fig.4 Sample photographs and microphotographs of magmatite and skarn in the Zhuxi deposit

A, D—Altered granite; B, E—Biotite granite; C, F—Porphyry granite; G, I—Diopside-garnet skarn; H—Garnet skarn; Qz—Quartz; Afs—Alkali feldspar; Bt—Biotite; Mc—Microcline; Ms—Muscovite; Di—Diopside; Grt—Garnet; Sc—Scheelite

表1 朱溪矿区岩浆岩及矿石取样位置和样品描述

样品编号	钻孔号	采样孔深/m	样品名称
ZX-01	ZK4210	736.50~738.00	蚀变花岗岩
ZX-02	ZK4210	835.50~837.00	蚀变花岗岩
ZX-03	ZK5406	1972.60~1974.10	黑云母花岗岩
ZX-04	ZK5406	2217.80~2219.30	黑云母花岗岩
ZX-05	ZK4210	1536.35~1537.35	花岗斑岩
ZX-06	ZK5406	1607.00~1608.80	白钨矿化透辉石石榴石矽卡岩型矿石
ZX-07	ZK5406	1583.30~1584.80	白钨矿化透辉石石榴石矽卡岩型矿石
ZX-08	ZK4212	1571.60~1573.10	黄铜白钨矿化石榴石矽卡岩型矿石
ZX-09	ZK4212	1654.60~1655.60	黄铜白钨矿化石榴石矽卡岩型矿石

量呈递减趋势,但微量元素配分曲线型式基本类似(图5-A),且都以富集Rb、U、Ta、Pb和P,亏损Ba、Th、Nb、Ce和Ti为主要特征。Zr的富集以及Nb、Ti元素的亏损表明其岩浆源区主要为壳源组分^[21]。

与矿区内岩浆岩相比,4件矽卡岩型矿石样中的微量元素含量更低(表2),且微量元素配分曲线型式变化较大(图5-A),以富集Rb、U、Ta、La、Pb、P和Y,亏损Ba、Th、Nb、Ce、Ti和Ho为主要特征。矽卡岩型矿石微量元素配分曲线总体上依然与岩浆岩较为类似,指示成矿作用可能与岩浆活动密切相关。

6.2 稀土元素

朱溪矿区岩浆岩的稀土元素含量见表2,可见岩浆岩稀土元素总量均较低,其中2件蚀变花岗岩(ZX-01、ZX-02) Σ REE分别为 39.61×10^{-6} 、 35.59×10^{-6} ,2件黑云母花岗岩(ZX-03、ZX-04) Σ REE分别为 92.07×10^{-6} 、 64.76×10^{-6} ,1件花岗斑岩(ZX-05) Σ REE为 27.83×10^{-6} 。岩浆岩LREE/HREE介于7.41~9.59,(La/Yb)_N值较高,介于9.05~22.59,明显富集轻稀土元素而亏损重稀土元素;(La/Sm)_N值均大于1,为2.42~13.48,(Gd/Yb)_N值为1.25~2.59,表明轻、重稀土元素分馏均很明显。岩浆岩均可见较明显的负Eu异常(δ Eu=0.42~0.70),Ce除1件黑云母花岗岩(ZX-03)具正异常(δ Ce=1.22)外,其余均具有弱-中等负异常(δ Ce=0.28~0.95)。

在球粒陨石标准化稀土元素配分模式图上(图5-B),5件岩浆岩样尽管稀土元素含量有一定的差异,但稀土元素配分曲线型式基本相类似,均具有Eu负异常的右倾型轻稀土富集配分曲线,表明其属于地壳物质部分熔融的产物。说明蚀变花岗岩、黑云母花岗岩及花岗斑岩的形成具有同源性,可能是同源不同阶段或深度分异结晶的产物。

与朱溪矿区岩浆岩相比,4件矽卡岩型矿石样

中的稀土元素总量明显偏低(表2), Σ REE介于 17.91×10^{-6} ~ 23.07×10^{-6} ,平均为 19.64×10^{-6} ,LREE/HREE介于10.40~27.75,(La/Yb)_N比值较高,介于30.78~99.23,表现为更强烈的富集轻稀土元素;(La/Sm)_N=20.60~80.03,(Gd/Yb)_N=0.52~1.78,表明轻稀土元素分馏极为明显、重稀土元素相对分馏较弱。矽卡岩型矿石 δ Eu变化较大,其中2件矽卡岩型矿石(ZX-07、ZX-08)基本无Eu异常,2件矽卡岩型矿石(ZX-06、ZX-09)分别具有Eu负异常(δ Eu=0.75)和Eu正异常(δ Eu=7.41),Ce均具有极强的负异常(δ Ce=0.03~0.17)。

Eu异常主要受控于长石,在分馏结晶过程中长石从长英质岩浆分离出来或者在部分熔融过程中残留在源区,必然引起熔浆中Eu的负异常^[22];而在矽卡岩型矿石形成过程中,大量石榴石结晶析出,由于它具有较强的容纳Eu及重稀土的能力,常引起矽卡岩 δ Eu的明显正值^[23]。因此,岩体中的明显负Eu异常应是酸性岩浆演化至晚期阶段的结果所致,而石榴石的存在则是矽卡岩型矿石中基本无Eu异常(ZX-07、ZX-08)或具有较明显正Eu异常(ZX-09)的主要原因。

在球粒陨石标准化稀土元素配分模式图上(图5-B),4件矽卡岩型矿石稀土元素配分曲线型式存在一定的差异,尤以Eu异常为显著区别,推测可能是石榴石含量差异所致,但是总体上稀土配分曲线与岩浆岩相似,尤与花岗斑岩配分曲线相似,均表现为右倾型轻稀土富集配分曲线,这也进一步说明矽卡岩型矿石的形成与岩浆岩具有密切的成因联系。

7 岩浆岩与成矿的关系

7.1 岩浆岩含矿性

岩浆活动和岩浆期后热液作用与钨铜等内生

表2 朱溪矿区岩浆岩及矿石稀土和微量元素含量(10^{-6})Table 2 Trace element and REE values of magmatite and ores in the Zhuxi deposit (10^{-6})

样品	蚀变花岗岩		黑云母花岗岩		花岗斑岩	矽卡岩型矿石			
	ZX-01	ZX-02	ZX-03	ZX-04	ZX-05	ZX-06	ZX-07	ZX-08	ZX-09
La	15.19	15.19	15.19	15.19	15.19	15.19	15.19	15.19	15.19
Ce	12.02	9.98	40.79	27.03	6.00	0.62	1.82	3.45	1.82
Pr	1.28	1.09	4.32	2.77	0.65	0.17	0.20	0.38	0.15
Nd	4.96	4.35	17.09	10.94	2.41	0.85	0.74	1.44	0.46
Sm	1.27	1.09	3.74	2.32	0.67	0.18	0.16	0.44	0.11
Eu	0.19	0.15	0.57	0.40	0.16	0.05	0.05	0.15	0.30
Gd	1.37	1.13	3.76	2.30	0.73	0.24	0.17	0.49	0.14
Tb	0.23	0.19	0.52	0.31	0.13	0.04	0.03	0.10	0.02
Dy	1.29	1.01	2.77	1.61	0.76	0.23	0.16	0.58	0.14
Ho	0.23	0.18	0.50	0.28	0.14	0.05	0.03	0.11	0.03
Er	0.65	0.50	1.29	0.73	0.39	0.15	0.10	0.30	0.10
Tm	0.10	0.08	0.18	0.10	0.06	0.02	0.02	0.05	0.02
Yb	0.75	0.58	1.20	0.70	0.48	0.11	0.12	0.35	0.22
Lu	0.10	0.07	0.16	0.09	0.06	0.01	0.02	0.04	0.04
Y	6.82	5.13	13.23	7.54	5.48	3.04	1.59	4.61	2.31
Σ REE	39.61	35.59	92.07	64.76	27.83	17.91	18.81	23.07	18.75
LREE	34.90	31.85	81.70	58.64	25.07	17.07	18.15	21.05	18.03
HREE	4.71	3.74	10.37	6.11	2.76	0.85	0.65	2.02	0.72
LREE/HREE	7.41	8.51	7.88	9.59	9.09	20.16	27.75	10.40	25.11
(La/Yb) _N	14.54	18.77	9.05	15.60	22.59	99.23	87.97	30.78	48.64
δ Eu	0.43	0.42	0.46	0.53	0.70	0.75	1.00	1.00	7.41
δ Ce	0.51	0.43	1.22	0.95	0.28	0.03	0.09	0.17	0.09
(La/Sm) _N	7.13	8.29	2.42	3.90	13.48	50.89	57.60	20.60	80.03
(Gd/Yb) _N	1.52	1.62	2.59	2.73	1.25	1.78	1.13	1.15	0.52
(La/Sm) _N /(Gd/Yb) _N	4.71	5.13	0.93	1.43	10.79	28.62	50.97	17.94	155.10
Rb	393.00	247.00	269.00	481.00	165.00	11.88	18.98	47.18	40.14
Ba	101.00	12.10	150.00	213.00	12.67	4.80	5.09	11.64	7.61
Th	4.34	3.69	7.78	8.72	1.43	0.04	0.22	0.20	0.16
U	17.54	14.15	14.49	13.16	8.24	3.76	3.50	1.46	1.72
K	38360	18600	33280	58160	11940	1180	1280	6740	6770
Ta	4.30	4.89	3.37	4.82	0.33	0.08	1.68	0.21	0.15
Nb	11.94	13.04	13.83	19.01	1.67	0.82	9.76	0.53	0.40
Pb	36.87	26.98	33.03	51.11	10.65	2.45	5.21	2.45	2.71
Sr	174.00	167.00	75.91	67.44	56.95	13.55	9.38	51.85	38.18
P	800	6000	1300	2900	400	8900	1600	1200	0.00
Zr	75.64	66.97	88.15	129.00	17.42	4.17	10.31	4.33	2.67
Ti	269.00	303.00	1009.00	1110.00	423.00	456.00	438.00	393.00	474.00

注: 样品测试由江西省地质矿产勘查开发局九一二实验室采用电感耦合等离子质谱仪完成。

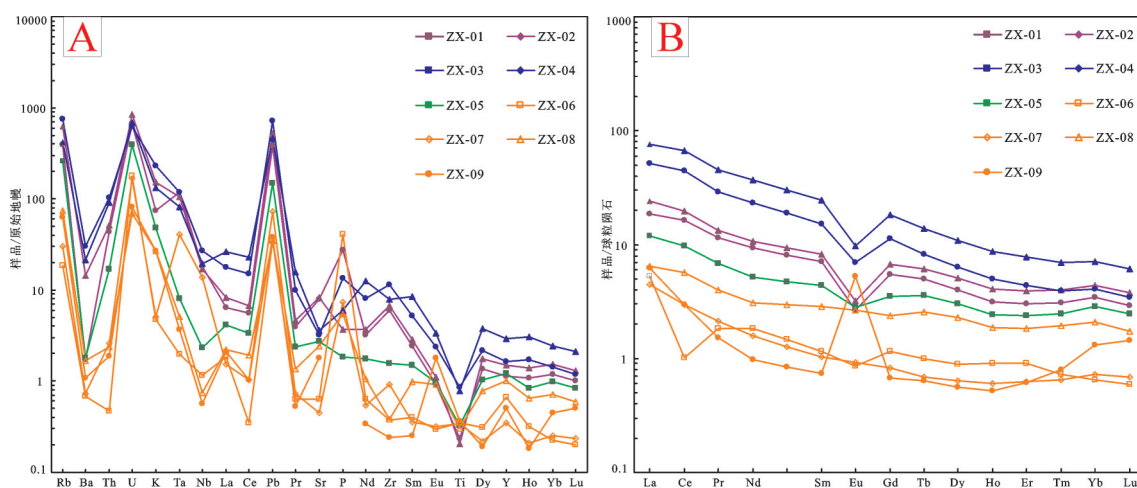


图5 朱溪岩浆岩和矿石微量元素原始地幔标准化蛛网图(A)和球粒陨石标准化REE分配曲线(B)

Fig. 5 Primitive mantle normalized spider diagrams (A) and chondrite-normalized REE patterns (B) of magmatite and ores in the Zhuxi deposit

表3 朱溪地区各类岩浆岩的矿化特征及成矿元素含量

Table 3 Mineralization characteristics and metallogenic element values for various types of magmatite in Zhuxi area

岩性	位置	矿化特征	品位/%			数据来源
			Cu	Zn	WO ₃	
花岗斑岩	23线以东	孔雀石化	0.56	/	/	[3]
	ZK2808	花岗斑岩和围岩具弱白钨矿化、黄铜矿化、黄铁矿化和闪锌矿化	0.02~0.05	0.08~0.17	0.01~0.08	[3]
	ZK4207	花岗斑岩具弱白钨矿化、黄铜矿化、黄铁矿化和闪锌矿化, 两侧围岩白钨矿化、黄铜矿化、黄铁矿化和闪锌矿化均较强	0.02~0.15	0.01~0.62	0.01~0.30	[3]
	ZK4208	花岗斑岩具弱白钨矿化、黄铜矿化、黄铁矿化和闪锌矿化, 两侧围岩中白钨矿化较强	0.03~0.07	0.01~0.02	0.003~0.01	[3]
	ZK4209	花岗斑岩具弱白钨矿化、黄铜矿化、黄铁矿化和闪锌矿化, 两侧围岩中白钨矿化较强	0.04~0.07	0.00~0.03	0.040~0.066	本文
	ZK4210		0.00~0.05	0.00~0.01	0.013~0.071	本文
	ZK4211		0.01~0.20	0.00~0.04	0.01~0.636	本文
	ZK5405	花岗斑岩具弱黄铜矿化和黄铁矿化, 两侧围岩中弱白钨矿化	0.03~0.22	0.03~0.05	0.003~0.005	本文
	ZK5406	花岗斑岩具白钨矿化和黄铁矿化, 两侧围岩中白钨矿化较强	0.01~0.04	0.01~0.03	0.003~0.954	本文
蚀变花岗岩	ZK4209	蚀变花岗岩本身具弱黄铜矿化、闪锌矿化和黄铁矿化, 两侧围岩砂卡岩化白钨矿黄铜矿化	0.01~0.11	0.01~0.05	0.025~0.076	本文
	ZK4210	蚀变花岗岩本身具弱黄铜矿化、白钨矿化、闪锌矿化和黄铁矿化, 两侧围岩砂卡岩化白钨矿化黄铜矿化	0.00~0.19	0.00~0.46	0.003~0.485	本文
	ZK4211	蚀变花岗岩本身具弱黄铜矿化、白钨矿化和黄铁矿化, 两侧围岩砂卡岩化白钨矿化黄铜矿化	0.00~0.64	0.00~0.25	0.002~0.292	本文
	ZK5406	蚀变花岗岩本身具弱黄铜矿化、白钨矿化和黄铁矿化, 两侧围岩白钨矿化黄铜矿化	0.01~0.20	0.00~0.03	0.003~0.211	本文
黑云母花岗岩	ZK5406	黑云母花岗岩具弱黄铜矿化、白钨矿化和黄铁矿化	0.00~0.90	0.00~0.08	0.002~0.050	本文

注: 测试由江西省地质矿产勘查开发局九一二实验室完成。

金属矿床的形成密切相关。朱溪矿区钻孔中所揭露的蚀变花岗岩、黑云母花岗岩和花岗斑岩中均可见白钨矿化, 并发育有黄铜矿化、闪锌矿化、黄铁矿化及辉钼矿化(图3-C、E~I)。

根据钻孔及地表中各类岩浆岩的矿化特征及成矿元素含量(表3), 区内蚀变花岗岩、黑云母花岗岩及花岗斑岩中的Cu、Zn、WO₃含量均较高, 尤以花岗斑岩(Cu、Zn、WO₃最高分别为0.56%、0.62%、0.636%)、蚀变花岗岩(Cu、Zn、WO₃最高分别为0.64%、0.46%、0.485%)中成矿元素含量更为高, 这些成矿元素含量较高的岩浆岩, 在沿不整合接触界面不断侵入上涌的过程中, 在热能的驱使下, 使具有较高背景值的地层中的成矿元素活化迁移, 同时源源不断地为地层中的矿源层进一步增添成矿物质, 在合适的成矿条件和环境下, 最终沉淀形成工业矿体。

区内不少岩浆岩本身就是富W-Cu等成矿元素的岩体。如23线的花岗斑岩Cu含量平均为

0.54%, 9号矿体产在花岗斑岩中^[3]。此外, ZK4210于722.40~1077.70 m处见矿化花岗岩枝频繁穿插于围岩中, 花岗岩普遍发育白钨矿化、黄铜矿化、闪锌矿化及辉钼矿化, 且向深部矿化具有增强趋势。

综上所述, 岩浆活动对成矿起着重要的作用, 既为成矿提供物质来源, 还为成矿作用提供所需的流体及热源。

7.2 矿化分带性

朱溪钨铜矿区内矿化分带性较为明显。自北东向南西水平方向以及沿倾斜方向由上向下依次出现Cu矿体、Cu-W矿体、W矿体; 垂向上由上向下大体出现方铅矿、闪锌矿(银)带→黄铜矿、闪锌矿带→黄铜矿(白钨矿)、黄铁矿带→白钨矿带, 对应的成矿元素组合分带表现为由深部岩体向晚古生代碳酸盐岩依次出现W→W-Cu-(Fe)→Cu-Zn→Zn-(Pb-Ag)(由高温到低温)变化趋势^[5]。这种成矿元素由高温到低温的分带趋势是与岩体有关成矿的基本特点^[24], 表明其深部岩体对钨铜多金属矿床的形

成起着至关重要的作用。

7.3 地球化学特征指示

前人大量研究工作表明,与W矿化密切相关的主要为陆壳改造型花岗岩(S型花岗岩)^[25-27]。朱溪矿区以黑云母花岗岩、蚀变花岗岩、花岗斑岩为主,相关学者通过对矿区内岩浆岩研究认为其属于地壳物质熔融之产物^[3,11],同时,本文前已述及微量元素及稀土元素特征均表明岩浆源区主要为壳源组分,说明本区岩浆岩在成矿专属性上更有利于钨矿床的形成。

稀土元素属于不活泼元素,在各种地球化学过程中行为基本一致,因而在地球化学研究中常作为有效的示踪剂。与朱溪矿区岩浆岩相比,矽卡岩型矿石尽管在稀土元素总量上存在一定的差异性,但是两者稀土配分曲线总体上较为一致,尤与花岗斑岩配分曲线相似,均表现为右倾型轻稀土富集配分曲线,表明矽卡岩型矿石的形成与岩浆岩具有密切的成因联系^[28-29],应具有相同的物质来源。

7.4 成岩与成矿年代学

近年来,高精度测年技术的出现为讨论朱溪矿区的成岩-成矿事件提供了重要的依据。陈国华^[30]通过LA-ICP-MS技术对朱溪矿区蚀变花岗岩和花岗斑岩中的锆石进行U-Pb定年,分别获得蚀变花岗岩年龄(151.5±3) Ma和花岗斑岩年龄(148.4±3.4) Ma;同时李岩^[12]对矽卡岩型矿石中的5件辉钼矿样进行Re-Os同位素测年,获得其等时线年龄为(146.3±1.9) Ma,对产于矽卡岩中的白云母-石英脉中的2件白云母样进行Ar-Ar法同位素测年,分别获得其成矿年龄为(150.6±1.5) Ma和(150.1±1.8) Ma,上述成岩与成矿年龄在误差范围内基本一致,均发生于晚侏罗世。由此可见,朱溪钨铜多金属矿床形成主要受华南中生代岩石圈多阶段伸展-减薄而形成的一系列地壳重熔型花岗质岩石控制^[31]。发生在晚侏罗世一早白垩世期间强烈的岩浆活动^[8,32],除了在朱溪地区形成一系列中-酸性岩浆岩外,还为成矿提供了含矿流体和热源,致使成矿物质迁移最终富集成矿,表明岩浆岩与成矿之间存在密切的成因联系。

8 认识

综合分析朱溪钨铜多金属成矿地质背景、矿床

地质特征、岩浆岩及矽卡岩型矿石微量-稀土元素特征、岩浆岩与成矿的关系,可以得出以下认识:

(1)岩浆岩微量元素由黑云母花岗岩→蚀变花岗岩→花岗斑岩,总体上含量呈递减趋势,但配分曲线型式基本类似,且都以富集Rb、U、Ta和Pb,亏损Ba、Th、Nb、Ce和Ti为主要特征。矽卡岩型矿石微量元素配分曲线总体上依然与岩浆岩较为类似。

(2)岩浆岩稀土元素特征表现为轻稀土富集,轻、重稀土元素分馏明显的Eu负异常右倾型轻稀土富集配分曲线,矽卡岩型矿石稀土元素球粒陨石标准化曲线总体上与岩浆岩类似。表明两者具有密切的成因联系,应具有相同的物质来源。

(3)岩浆岩含矿性、矿化分带性、地球化学特征及成岩-成矿年代学分析均表明岩浆岩与成矿之间存在密切的成因联系。

致谢:野外期间得到朱溪铜钨多金属矿床项目部饶建锋、曾祥辉、张诚、康川、魏锦、罗淦川、舒立旻、谢涛等相关地质人员的大力支持和帮助,室内光薄片镜下鉴定方面得到了九一二大队杨晓鹏高工的悉心指导,同时审稿专家和编辑部杨艳老师提出了较多对本文有帮助的建设性意见,在此一并致以衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 林黎, 占岗乐, 喻晓平. 江西大湖塘钨(锡)矿田地质特征及远景分析[J]. 资源调查与环境, 2006, (1): 25-32.
Lin Li, Zhan Gangle, Yu Xiaoping. Geological characteristics and ore-search prospect of Dahutang tungsten (tin) orefield in Jiangxi[J]. Resources Survey & Environment, 2006, (1): 25-32 (in Chinese with English abstract).
- [2] Mao Z H, Cheng Y B, Liu J J, et al. Geology and molybdenite Re-Os age of the Dahutang granite-related veinlets-disseminated tungsten ore field in Jiangxi Province, China[J]. Ore Geology Reviews, 2013, 53: 422-433.
- [3] 陈国华, 万浩章, 舒良树, 等. 江西景德镇朱溪铜钨多金属矿床地质特征与控矿条件分析[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 3901-3914.
Chen Guohua, Wan Haozhang, Shu Liangshu, et al. An analysis on ore-controlling condition and Geological features of the Cu-W polymetallic ore deposit in the Zhuxi area of Jingdezhen, Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(12): 3901-3914 (in Chinese with English abstract).
- [4] 何细荣, 陈国华, 刘建光, 等. 江西景德镇朱溪地区铜钨多金属矿找矿方向[J]. 中国钨业, 2011, 26(1): 9-14.
He Xirong, Chen Guohua, Liu Jianguang, et al. On the copper-tungsten prospecting orientation in Zhuxi region[J]. China

- Tungsten Industry, 2011, 26(1): 9–14 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘建光, 何细荣, 万浩章, 等. 江西朱溪钨铜矿突出特征与巨型矿床的发现[C]//中国地质学会2013学术年会论文摘要汇编, 2013: 275–281.
Liu Jianguang, He Xirong, Wan Haozhang, et al. The prominent features and giant resource discovery of Zhuxi W–Cu deposit[C]//2013 Conference of Geological Society of China, 2013: 275–281 (in Chinese).
- [6] 苏晓云, 王登红, 王成辉, 等. 基于XEPOS型X射线荧光光谱仪研究江西朱溪钨铜矿床成矿元素地球化学特征与成因[J]. 岩矿测试, 2013, 32(6): 959–969.
Shu Xiaoyun, Wang Denghong, Wang Chenghui, et al. Metallogenic element geochemistry characteristics and genesis of the Zhuxi copper–tungsten polymetallic deposit, Jiangxi Province based on using XEPOS X–ray fluorescence spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(6): 959–969 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张诚, 欧阳永棚, 魏锦, 等. 朱溪铜钨多金属矿床地质特征及找矿标志[J]. 中国西部科技, 2014, 13(5): 45–47.
Zhang Cheng, Ouyang Yongpeng, Wei Jin, et al. Geological characteristics and prospecting criteria of the Zhuxi Cu–W polymetallic deposit in Jingdezhen of Jiangxi[J]. Science and Technology of West China, 2014, 13(5): 45–47 (in Chinese).
- [8] 刘善宝, 王成辉, 刘战庆, 等. 赣东北塔前—赋春成矿带岩浆岩时代限定与序列划分及其意义[J]. 岩矿测试, 2014, 33(4): 598–611.
Liu Shanbao, Wang Chenghui, Liu Zhanqing, et al. Northeast Jiangxi Taqian–Fuchun metallogenic belt magmatite time limit and sequence division and its significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(4): 598–611 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘战庆, 刘善宝, 陈毓川, 等. 江西朱溪钨铜矿区煌斑岩LA–ICP–MS锆石U–Pb同位素定年及地质意义[J]. 岩矿测试, 2014, 33(5): 758–766.
Liu Zhanqing, Liu Shanbao, Chen Yuchuan, et al. LA–ICP–MS zircon U–Pb isotopic dating of lamprophyre located Zhuxi copper–tungsten mine of Jiangxi Province and its geological significance[J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(5): 758–766 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李岩, 赵苗, 潘小菲, 等. 景德镇朱溪钨(铜)矿床花岗斑岩的锆石U–Pb年龄、地球化学特征及其与成矿关系探讨[J]. 地质论评, 2014, 60(3): 693–708.
Li Yan, Zhao Miao, Pan Xiaofei, et al. LA–ICP–MS zircon U–Pb age, geochemical feature and relations to the W–Cu mineralization of granitic porphyry in Zhuxi skarn deposit, Jingdezhen, Jiangxi[J]. Geological Review, 2014, 60(3): 693–708 (in Chinese with English abstract).
- [11] Ouyang Y P, Chen G H, He X R, et al. Geochemical characteristics of granite from the Zhuxi copper–tungsten polymetallic deposit in the Jingdezhen region, Jiangxi province[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2014, 88(supp.2): 104–105.
- [12] 李岩. 江西省朱溪钨(铜)多金属矿床成矿作用研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2014.
Li Yan. Mineralization Study of the W–Cu Polymetallic Deposit in Zhuxi, Jiangxi Province[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [13] 欧阳永棚, 陈国华, 饶建锋, 等. 景德镇朱溪铜钨多金属矿床地质特征及成矿机制初探[J]. 地质学刊, 2014, 38(3): 359–364.
Ouyang Yongpeng, Chen Guohua, Rao Jianfeng, et al. On geological features and metallogenic mechanism of Zhuxi Cu–W polymetallic deposit in Jingdezhen of Jiangxi[J]. Journal of Geology, 2014, 38(3): 359–364 (in Chinese with English abstract).
- [14] 杨明桂, 梅勇文. 钦–杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, 1997, (3): 52–59.
Yang Minggui, Mei Yongwen. Characteristics of geology and metallization in the Qinzhou–Hangzhou Paleoplate Juncture[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 1997, (3): 52–59 (in Chinese with English abstract).
- [15] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 636–658.
Mao Jingwen, Chen Maohong, Yuan Shunda, et al. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) metallogenic belt in South China and spatial–temporal distribution regularity of mineral deposit[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(5): 636–658 (in Chinese with English abstract).
- [16] Shu L S, Faure M, Wang B, et al. Late Paleozoic–Early Mesozoic geological features of South China Response to the Indosinian Collision Event in Southeast Asia[J]. Comptes Rendus Geoscience, 2008, 340(2/3): 151–165.
- [17] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 529–543.
Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, et al. Lithospheric structure and large–scale metallogenic process in Southeast China continental area[J]. Geology in China, 2009, 36(3): 529–543 (in Chinese with English abstract).
- [18] 华仁民, 李光来, 张文兰, 等. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 9–23.
Hua Renmin, Li Guanglai, Zhang Wenlan, et al. A tentative discussion on different between large–scale tungsten and tin mineralization in South China[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 9–23 (in Chinese with English abstract).
- [19] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段地块地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京: 南京大学出版社, 1995: 1–174.
Shu Liangshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi, et al. Plate Tectonic Evolution and the Kinematics of Collisional Orogeny in Middle Jiangnan, Eastern China[M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1995: 1–174 (in Chinese).

- [20] 杨明桂, 刘亚光, 黄志忠, 等. 江西中新元古代地层的划分及其与邻区对比[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 43-53.
Yang Minggui, Liu Yaguang, Huang Zhizhong, et al. Subdivision of Meso-Neoproterozoic strata in Jiangxi and a correlation with the neighboring areas[J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 43-53 (in Chinese with English abstract).
- [21] Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system[J]. *Chemical Geology*, 1995, 120(3/4): 347-359.
- [22] 丁振举, 姚书振, 刘丛强, 等. 东沟坝多金属矿床喷流沉积成矿特征的稀土元素地球化学示踪[J]. 岩石学报, 2003, 19(4): 792-798.
Ding Zhenju, Yao Shuzhen, Liu Congqiang, et al. The characteristics of exhalation-sedimentary deposits of Donggouba polymetal deposit: evidence from ore's REE composition[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(4): 792-798 (in Chinese with English abstract).
- [23] 徐兆文, 任启江, 邱检生. 河南省栾川三道庄和黄背岭矿区含矿矽卡岩的对比研究[J]. 矿物学报, 1995, 15(1): 88-96.
Xu Zhaowen, Ren Qijiang, Qiu Jiansheng. A comparative investigation of ore-bearing skarns in Sandaozhuang and Huangbeiling, Luanchuan county, Henan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1995, 15(1): 88-96 (in Chinese with English abstract).
- [24] 毛景文, 程彦博, 郭春丽, 等. 云南个旧锡矿田: 矿床模型及若干问题讨论[J]. 地质学报, 2008, 82(11): 1455-1467.
Mao Jingwen, Cheng Yanbo, Guo Chunli, et al. Gejiu tin polymetallic ore-field: deposit model and discussion for several points concerned[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(11): 1455-1467 (in Chinese with English abstract).
- [25] Taylor R G. *Geology of Tin Deposits*[M]. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1979, 543-543.
- [26] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. 中国科学(D辑), 2003, 33(4): 335-343.
Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Metallogenic systems related to Mesozoic and Cenozoic granitoids in South China[J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 46 (8): 816-829 (in Chinese).
- [27] 张旗, 金惟俊, 王焰, 等. 花岗岩与金铜及钨锡成矿的关系[J]. 矿床地质, 2010, 29(5): 729-759.
Zhang Qi, Jin Weijun, Wang Yan, et al. Relationship between granitic rocks and Au-Cu-W-Sn mineralization[J]. *Mineral Deposits*, 2010, 29(5): 729-759 (in Chinese with English abstract).
- [28] 姚磊, 刘佳林, 王建, 等. 鄂东南弧集区程潮大型矽卡岩铁矿的花岗质岩与成矿关系探讨[J]. 中国地质, 2012, 39(6): 1712-1726.
Yao Lei, Liu Jialin, Wang Jian, et al. The relationship between granitoids and mineralization of the Chengchao large-size skarn iron deposit in southeastern Hubei ore concentration area[J]. *Geology in China*, 2012, 39(6): 1712-1726 (in Chinese with English abstract).
- [29] 董毅, 刘显凡, 邓江红, 等. 中甸弧西斑岩带印支期中酸性侵入岩成因与成矿意义[J]. 中国地质, 2012, 39(4): 887-899.
Dong Yi, Liu Xianfan, Deng Jianghong, et al. Genesis and metallogenic significance of the Indosinian intermediate-acidic intrusive rocks in the west porphyry belt, Zhongdian island arc, Yunnan[J]. *Geology in China*, 2012, 39(4): 887-899 (in Chinese with English abstract).
- [30] 陈国华. 江西景德镇朱溪铜钨多金属矿床地质特征与控矿条件研究[D]. 南京: 南京大学, 2014.
Chen Guohua. A Research on Ore-controlling Conditions and Geological Features of the Cu-W Polymetallic Ore Deposit in the Zhuxi Area of Jingdezhen, Jiangxi Province[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [31] 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 45-55.
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 45-55 (in Chinese with English abstract).
- [32] 郭春丽, 许以明, 楼法生, 等. 钦杭带侏罗纪与铜和锡矿有关的两类花岗岩对比及动力学背景探讨[J]. 岩石矿物学杂志, 2013, 32(4): 463-484.
Guo Chunli, Xu Yiming, Lou Fasheng, et al. A comparative study of the Middle Jurassic granodiorite related to Cu and the Late Jurassic granites related to Sn in the Qin-Hang metallogenic belt and a tentative discussion on their tectonic dynamic setting[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2013, 32(4): 463-484 (in Chinese with English abstract).